

# 3D MĚŘENÍ TECHNOLOGIÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

## ŠVÉDSKO - SILNICE 41 (VÄG41) – BERGHAM - GULLBERG

Ing. Marek Příkryl, Ph.D., Control System International s.r.o.  
Ing. Lukáš Kutil, Control System International s.r.o.  
Ing. Josef Žák, AB Studio C+E S. r.o.

### Anotace

Technologie laserového skenování umožňuje zaměřit detailně celý povrch vozovky a nejbližšího okolí v daném souřadnicovém systému. Jde o mnohem podrobnější zaměření, než jaké poskytují ostatní technologie, kdy zaměřujeme pouze vybrané profily nebo vybrané části vozovky. Technologii laserového skenování je vhodné nasazovat na měření povrchů vozovky při rekonstrukci dálnic, rychlostních komunikací a silnic první třídy. Dále na kontrolu stavu povrchu vozovky v průběhu používání (sledování změn) a na kontrolu vybraných významných prvků pozemních komunikací jako jsou například mostní závěry. Laserové skenování lze také úspěšně využít při výstavbě nové komunikace, při jejím rozšiřování o jízdní pruhy a při rekonstrukci.

### Abstract

Laser scanning technology can measure in detail all the road surface and surroundings in given coordinate system. This is a much more detailed measurement than other common used technologies, which measure only selected profiles or selected parts of the road. Laser scanning technology is suitable for measuring road surface during the reconstruction of highways, expressways and primary roads. Then for controlling the status of the road surface during use (tracking changes) and the control of selected major elements of the infrastructure such as bridge expansion. Laser scanning can also be successfully used in the construction of new roads, the expansion of lines and reconstruction.

### Úvod

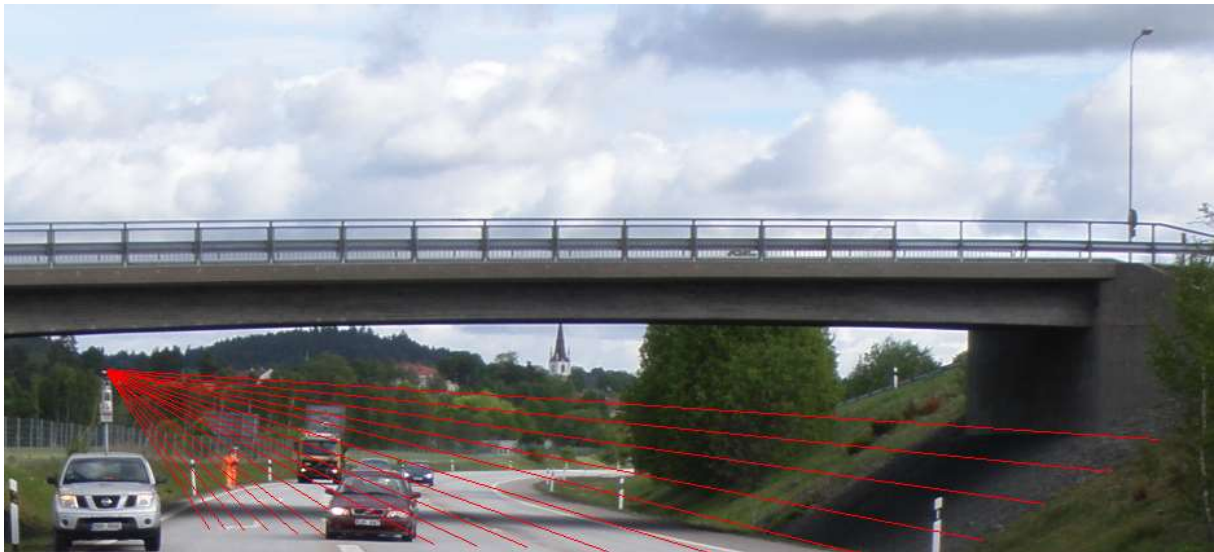
Pro kategorii nerovností se jako velmi vhodná jeví technologie laserového skenování a v současné době se řeší její začlenění do normy ČSN 73 6175 jak na národní tak na celoevropské úrovni.

Článek prezentuje projekt pořízení 3D mapových podkladů pro projekt a následné využití 3D dat pro vlastní rekonstrukci vozovky. Využití 3D podrobných modelů je možnost jak zpřesnit projekt a následně optimalizovat náklady na vlastní rekonstrukci.

Popis technologie je uveden v [2]. Zaměření článku se týká efektivním využitím přesných 3D dat pro potřeby přípravy stavby a následné rekonstrukce. Využití 3D dat je shrnuto v následujících kapitolách:

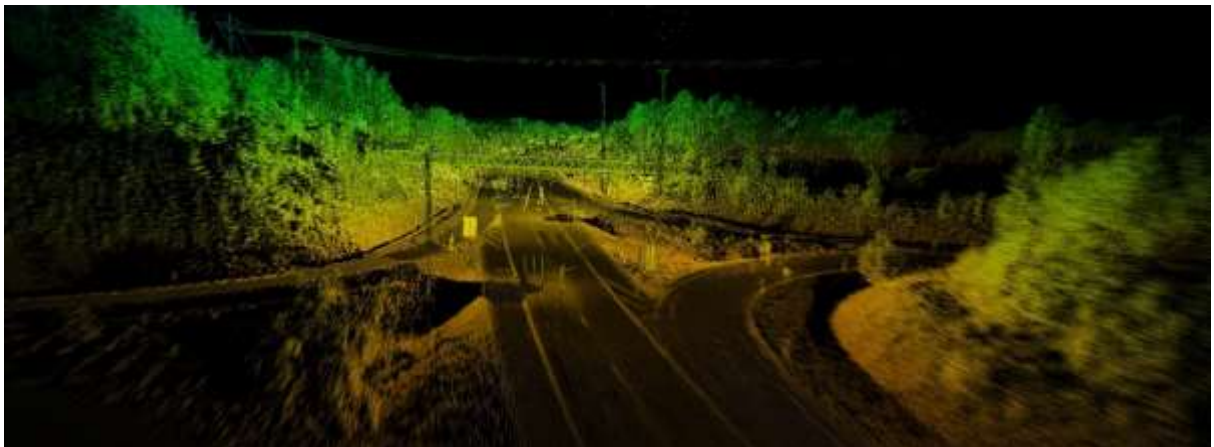
- Digitální model terénu (DMT) pro projekt
  - Analýza stávající kvality povrchu vozovky
  - Vstupní data pro projekt
  - Vizualizace a výpočty
- Zpřesnění DMT a optimalizace projektu
- 3D frézování, řízení finišeru a výstupní 3D kontrola kvality

## DMT pro projekt



Obr.1: Měření: 3D laserové skenování silnice V41

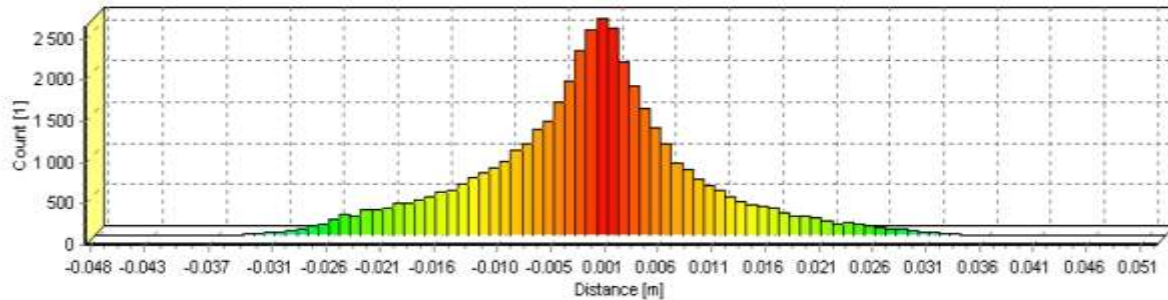
Zadání od projektanta bylo vytvořit podklad pro projekt rekonstrukce asfaltové části vozovky ve Švédsku, obchvat města Kinna. Zakázka byla zpracována na 10,8 km úseku silnice 41 (Väg 41) mezi městskými částmi Bergham – Gullberg. Zadaná pozemní komunikace je dvoupruhová směrově nerozdělená, obousměrně poježděná. Koruna pozemní komunikace je v průměru 12m široká, pouze v křižovatkových úsecích je rozšířena o odbočovací pruhy.



Obr.2: Základní výstup: 3D mračna bodů s detaily silnice a okolí

Objednatelem byly předem stanoveny tyto požadavky: Podrobné body měřené na krytové vrstvě vozovky v minimální hustotě v podélném směru 1m, v příčném směru 0,1m. Liniové prvky polohopisu, konkrétně hranice krytu vozovky, osa komunikace, svodidla a hrany mostů komunikace.

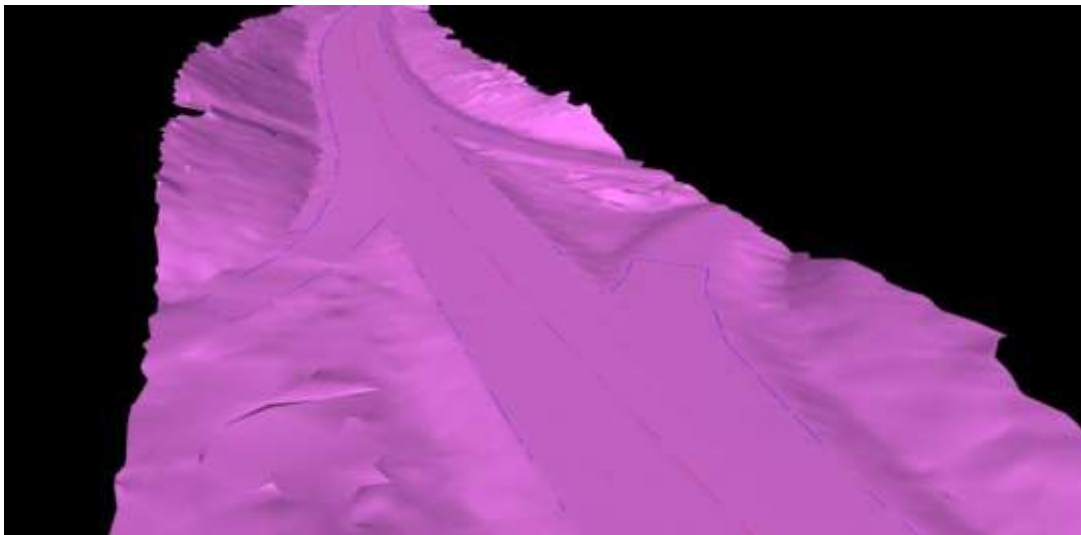
Zaměření podrobných bodů bylo provedeno technologií laserového skenování metodou „stop and go“ (Obr.1). Zpracování mračen bodů naskenovaných při měření probíhalo v několika postupných krocích (Obr.2). Jednotlivé body se transformovaly do souřadnicového systému. Poté se provedlo odstranění šumu z měření a odmazání nežádoucích naskenovaných objektů (auta, vegetace, ...), následně se pomocí korelace mračen bodů vyrovnalo měření jednotlivých skenpozic. Směrodatná odchylka z vyrovnání korelací mračen je 0,004m (Obr.3).



Obr.3: Histogram korelace mračen z 215 skenovacích pozic vykazuje přesnost 0,004m

Poslední úpravou je vyfiltrování mračen bodů v požadované hustotě, zde byly použity dva výstupní filtry. První vytvořil digitální model terénu s jedním bodem na 10cm<sup>2</sup> (Obr.4). Druhý vytvořil digitální model terénu s body v podélném směru s frekvencí jednoho metru a v příčném směru pak po deseti centimetrech (Obr.8).

Následným vyhodnocením mračen bodů a bodů z měření pomocí GNSS, byly vytvořeny linie hranic krytové vrstvy s frekvencí definice bodového pole popětí metrech. Průměrováním hranic krytové vrstvy byla vytvořena osa komunikace. Vektorizací mračen bodů byla dokreslena poloha svodidel a hran mostů.

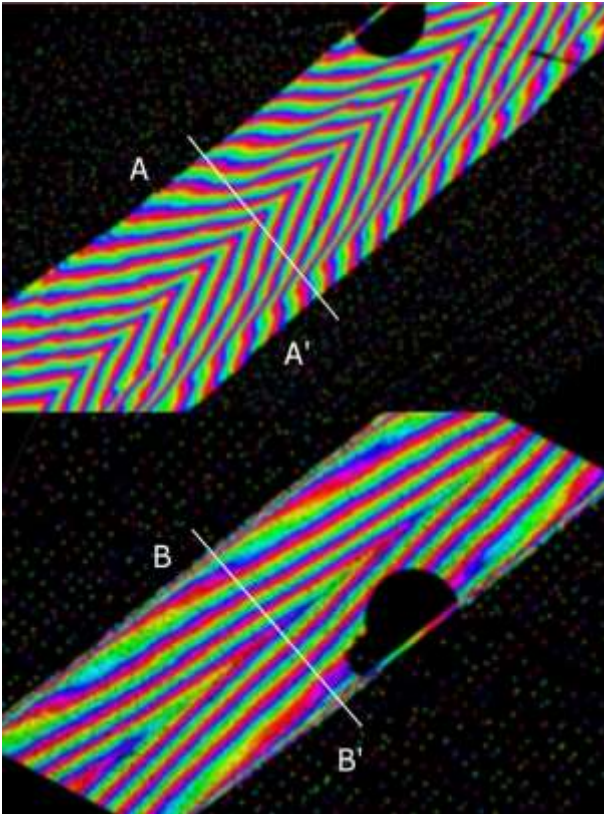


Obr.4: Velmi přesný digitální model terénu

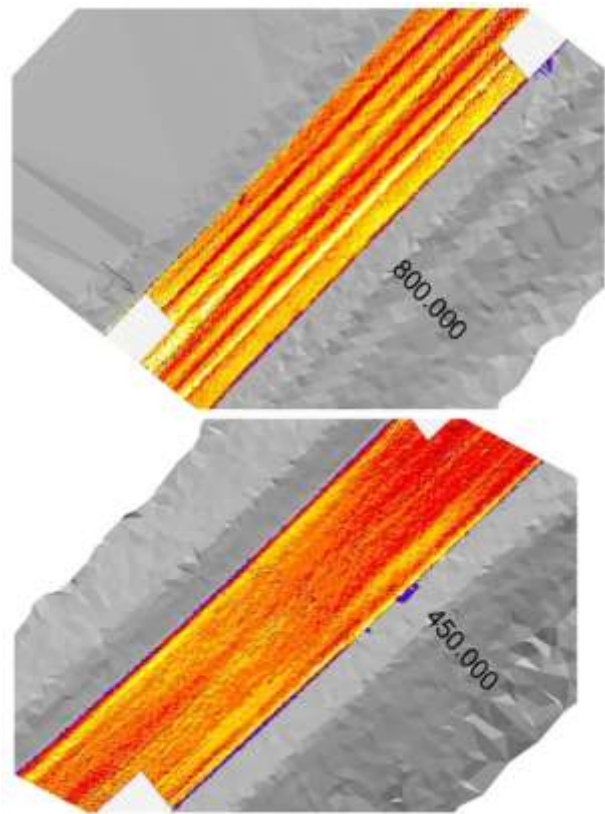
Výsledná data vzniklá zpracováním bodů z laserového skenování byla použita pro následující aplikace:

### **Analýza stávající kvality povrchu vozovky**

Na získaných datech byla pomocí specializovaných softwarů provedena analýza měřených dat, sklonitost vozovky, hypsometrická analýza vyjetých kolejí (Obr.5), sklonová analýza vyjetých kolejí (Obr.6), řezy rozdílového modelu terénu (Obr.7) a odtokových poměrů výkopů.

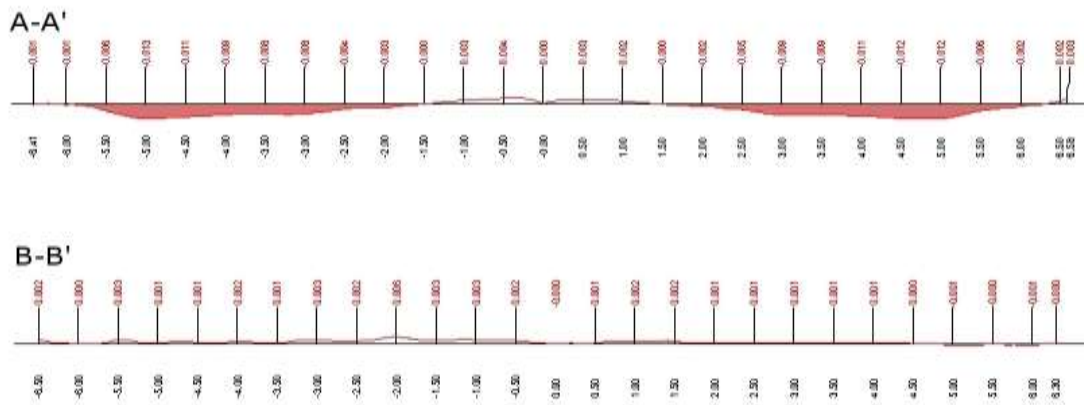


Obr.5: Hypsometrická analýza dat



Obr.6: Analýza pomocí sklonů

Hypsometrická analýza je založena na základě vyjádření výškopisu pomocí barevných odstínů, v tomto případě bodů povrchu vozovky (Obr.5). Na základě analýzy 3D modelu lze přisoudit povrchu konstrukce vozovky vlastnosti, z horní části obrázku 6 je patrný střechovitý sklon s poruchou vozovky typu vyjetých kolejí, naproti tomu ze spodní části obrázku 6 je patrný střechovitý sklon vozovky bez tohoto typu poruchy. V daných úsecích byla také provedena kontrola stavu vozovky pomocí rozdílových řezů (Obr.7). Řez A-A' na deformované vozovce a řez B-B' na vozovce bez vyjetých kolejí.



Obr.7: Řez modelu v místě hypsometrické analýzy

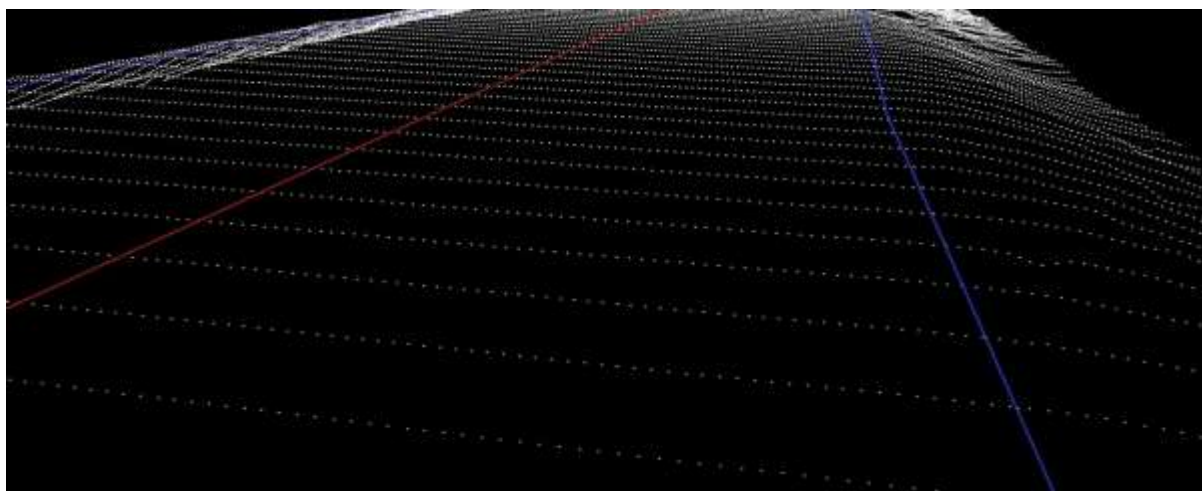


Analýza pomocí sklonů je založena na vyjádření sklonů s pomocí barevných odstínů trojúhelníků digitálního modelu terénu, podle úhlů mezi normálami trojúhelníků a svislicí (Obr.6). Pozemní komunikace bez vyjetých kolejí (Obr.6-spodní část) má převážně stejné barvy v rozsáhlých oblastech. Tedy celá pozemní komunikace má neměnný sklon. Naproti tomu pozemní komunikace s vyjetými kolejemi (Obr.6-horní část), má patrné souvislé odstíny barevných kolejí, které značí výrazné změny sklonu.

### **Vstupní data projektu**

Požadavky na vstupní data projektu rekonstrukce vozovky, které byly definovány objednatelem, jsou: Podrobné body měřené na povrchu krytu vozovky v minimální hustotě v podélném směru 1m a v příčném směru 0,1m (Obr.8). Dále hranice krytu vozovky, osa komunikace, svodidla a hrany mostů pozemní komunikace (Obr.9). Dodržení směrodatné polohové i výškové odchylky všech podrobných bodů do 0,02m. Na základě dodaných dat, byl vytvořen projekt rekonstrukce krytu vozovky.

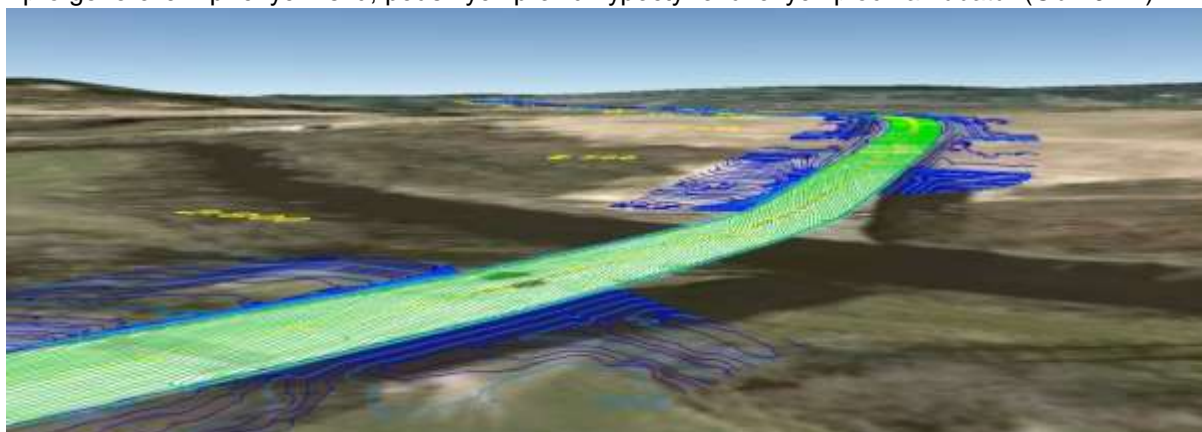
Projekt byl následně využit pro frézování vozovky a pro položení nových vrstev krytu vozovky. Další možné aplikace využití dat jsou např. projekt rozšíření o jízdní pruhy a vytvoření nového odvodňovacího zařízení pozemní komunikace.



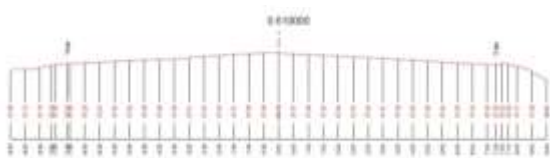
Obr.8: Podrobné body včetně liniových prvků polohopisu

### **Vizualizace a výpočty**

Výsledné digitální modely terénu, vrstevnice a liniové prvky byly využity pro vizualizaci, animaci, dále pro generování příčných řezů, podélných profilů výpočty rozdílových ploch a kubatur (Obr. 9-11).



Obr.9: Vizualizace Google Earth



Obr.10: Příčný řez

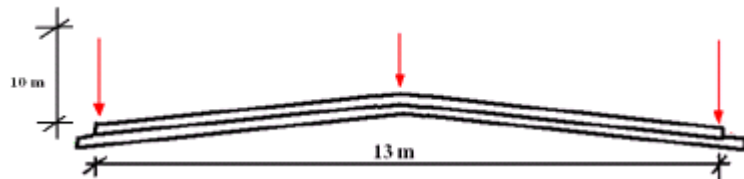


Obr.11: Podélný profil

## Zpřesnění DMT a optimalizace projektu

Pro potřebu rekonstrukce krytových vrstev vozovky, bude vybudována účelová geodetická síť v blízkosti pozemní komunikace. Tato síť bude obsahovat body po obou stranách pozemní komunikace přibližně po 200 metrech. Celá účelová síť bude obsahovat cca 135 bodů, které budou pevně stabilizovány a označeny signálním značením. Polohové souřadnice pevných bodů, budou určeny měřeními GPS. Výšky budou zaměřeny nivelací s výsledným výškovým uzávěrem do 2mm.

Před samotným zahájením stavebních prací se provede kontrolní zaměření povrchu vozovky po 10m z nově vybudované geodetické sítě. V řezu budou zaměřeny 3 body kraj povrchu vozovky – osa – kraj povrchu vozovky (Obr. 12). Pomocí těchto bodů se provede výšková úprava projektu, dle požadavků objednatele a schválená projektantem. Tato úprava projektu vozovky přináší významné úspory na materiálu v nejnákladnějších vrstvách vozovky.



Obr.12: Výšková úprava projektu

Pro práci s mračny bodů a 3D modelem povrchu byl projekční kancelář využit software AutoCAD Civil 3D. Pro optimalizaci návrhu trasy a nivelety ke stávajícímu stavu je využita funkcionality optimálního proložení. Touto metodikou je docíleno minimálních odchylek od stávajícího směrového a výškového řešení při současném dodržení požadovaných návrhových parametrů. Tvorba 3D modelu návrhu pak umožňuje export povrchu frézované vozovky a nově pokládané vrstvy. Z těchto projektových podkladů lze pak využít metodiky výstavby pomocí systému dálkového řízení strojů a kontroly provádění prací rozdílovými povrchy.

Dále jsou v projektu použity přednastavené inteligentní sestavy příčných řezů určené pro rekonstrukci vozovek. Tyto sestavy umožňují automatický výpočet sklonu překrytí stávající vrstvy vozovky a nastavení požadované tloušťky překrytí, nebo i požadované tloušťky frézování.

V tomto případě reprofilyce povrchu vozovky je pak navržený příčný sklon krytové vrstvy definován automatickým výpočtem klopení vozovky dle lokálních standardů.

## 3D frézování, řízení finišeru a výstupní 3D kontrola kvality

Na základě podrobné účelové sítě a upraveného digitálního modelu projektu, budou probíhat 3D frézovací práce a pokládání nových vrstev asfaltu (Obr.13). Všechny tyto práce budou probíhat pomocí systému dálkového řízení strojů. Vrstvy budou kontrolně skenovány a vyhodnoceny.

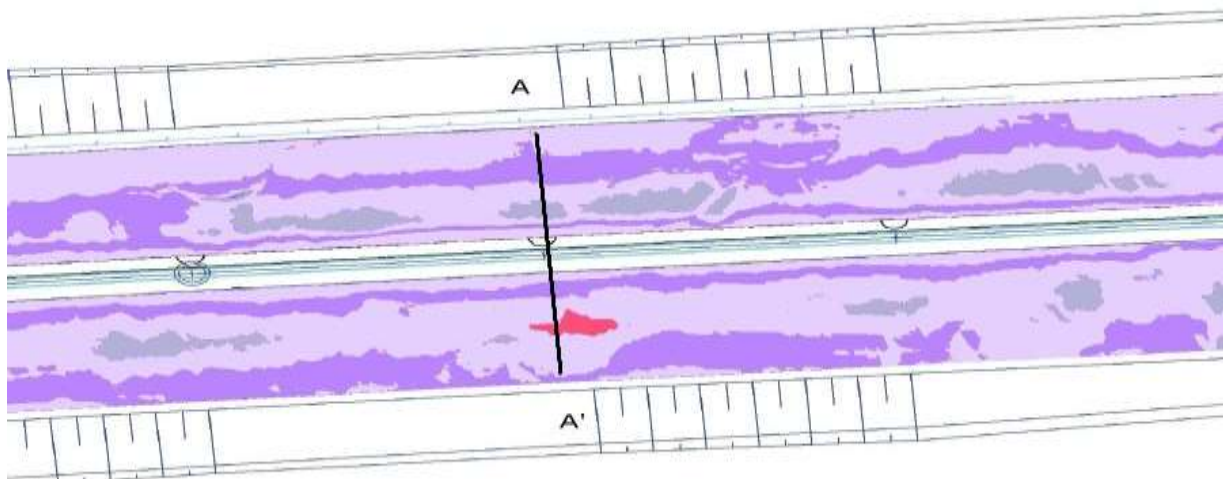
Standartní povolené odchylky pro jednotlivé vrstvy (projektovaná výška vs zaměřená výška):

Frézování vrstva A	+ 5 až - 5 mm
Asfalt ABTS-16 vrstva B	+ 3 až - 7 mm
Asfalt ABTS-11 vrstva C	± 0 až - 5 mm

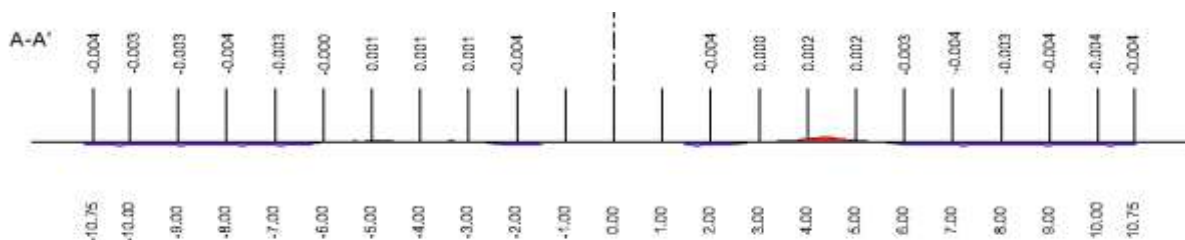
Po ukončení stavebních prací bude provedeno závěrečné měření skutečného provedení výsledných prací metodou laserového skenování s dosaženou výškovou směrodatnou odchylkou 4mm.



Obr.13: Frézovací práce dálkově řízené totální stanicí. Terč je umístěn v dostatečné výšce nad strojem a propojený s řídicím počítačem.



Obr.14: Ukázka rozdílového digitálního modelu terénu – výstupní kontrola kvality. V tomto případě červená barva označuje překročení povolené tolerance  $\pm 0$  až - 5 mm



Obr.15: Ukázka řezu rozdílového digitálního modelu terénu.

Výsledkem zaměření budou podrobné body a liniové prvky skutečného provedení stavby. Na základě získaných dat se provedou výstupní kontroly kvality položení asfaltových hutněných vrstev pomocí rozdílových digitálních modelů terénu (Obr.14) a kontrolních rozdílových řezů (Obr.16).

#### Literatura

[1] Příkryl Marek: Optimalizace při výstavbě silnic a dálnic, Stavební a investorské noviny. Ročník XVII, č.4, s.68-69, ISSN 1804-2864, 2010.

[2] Příkryl Marek: Nejpřesnější měření zemních prací, Stavební a investorské noviny. Ročník XVII, č.10, s.6-7, ISSN 1804-2864, 2010.